

# Dimensionamento da constante elástica da mola do sistema de freio

Todo o dimensionamento do sistema foi feito utilizando o software Matlab considerando o esquemático mostrado na figura 1, em seguida o código que compilado gerou os resultados apresentados ao final deste documento.

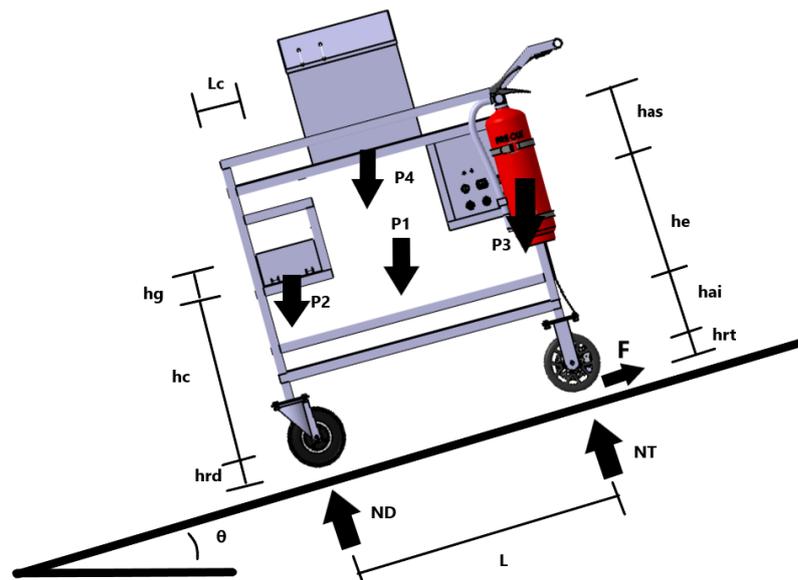


Figura 1 – Carrinho de baterias no plano inclinado

Levando em consideração que por fatores comerciais e econômicos a mola do sistema de freio foi previamente escolhida retiramos os seus parâmetros e comparamos a sua constante elástica com a constante elástica necessária no projeto.

Deste modo para a mola já selecionada observamos na figura 2 que a constante elástica da mola utilizada é de 34021 N/m

```
MATLAB Drive/K_mola.m
1 clear all; close all; clc;
2
3 %Constante elástica de uma mola helicoidal
4
5 d = 0.0018; % [m] diâmetro do fio
6 Di = 0.00595; % [m] diâmetro interno
7 G = 75e9; % [Pa] módulo de elasticidade transversal (Aço)
8 N = 9; % Número de espiras
9
10 Dm = Di + (d/2); % [m] diâmetro médio da mola
11
12 K = (d^4*G)/(8*Dm^3*N); % [N/m] Constante elástica da mola
13
14 fprintf('K = %.2f N/m\n', K);
```

Command Window  
K = 34021.00 N/m

Figura 2 – Calculo da constante elástica no Matlab.

A análise foi feita em 3 partes inicialmente considerando que a inclinação máxima recomendada pela norma NBR 9050 é de 8,33 graus para pedestres, a locomoção do carrinho é dada por uma pedestre desta forma essa será a primeira análise a ser considerada. Para este caso teremos o seguinte código em matlab:

```
clc; clear all; close all;

%Parâmetros de massa em kg
p1=45; %massa da estrutura completa do chassi
p2=8; %massa do carregador
p3=6; %massa do extintor
p4=65; %massa do acumulador de baterias
pr=3; %massa das rodas
g=9.80665; %gravidade em m/s2

%Alturas em metros
hrd=0.254/2; %altura do centro roda dianteira
hrt=0.254/2; %altura do centro da roda traseira
hc=0.650; %altura do piso até o carregador
hg=0.670; %altura do centro de gravidade
hai=0.330; %altura do acumulador na parte inferior do carrinho
he=0.770; %altura do extintor
has=0.970; %altura do acumulador na parte superior do carrinho
ht=1.160; %altura do empurrador

%Comprimentos em metros
l=1000; %distância entre eixos
lc=0.125; %distância do carregador ao eixo dianteiro
lg=l/2; %distância do centro de gravidade a qualquer um dos eixos
la=lg; %distância do acumulador a qualquer um dos eixos

%angulo de inclinação em graus;
o=8.33; %angulo em graus
seno=sind(o); %seno do angulo
coso=cosd(o); %cosseno do angulo

%Somatorio de momento em relação a roda dianteira
%sentido horario positivo

cr=-2*pr*g*seno*hrd-2*pr*g*seno*hrt+2*pr*g*coso*l; %contribuição das rodas
cp1=-p1*g*seno*hg+p1*g*coso*lg; %contribuição do peso 1
cp2=-p2*g*seno*hc+p2*g*coso*lc; %contribuição do peso 2
cp3=-p3*g*seno*he+p3*g*coso*l; %contribuição do peso 3
cp4=-p4*g*seno*has+p4*g*coso*la; %contribuição do peso 4
nt=(cr+cp1+cp2+cp3+cp4)/l; %reação no eixo traseiro

%Somatorio de momento em relação a roda traseira
%sentido horario positivo

cr=-2*pr*g*seno*hrd-2*pr*g*seno*hrt-2*pr*g*coso*l; %contribuição das rodas
cp1=-p1*g*seno*hg-p1*g*coso*lg; %contribuição do peso 1
cp2=-p2*g*seno*hc-p2*g*coso*(l-lc); %contribuição do peso 2
cp3=-p3*g*seno*he; %contribuição do peso 3
cp4=-p4*g*seno*has-p4*g*coso*la; %contribuição do peso 4
nd=-(cr+cp1+cp2+cp3+cp4)/l; %Reação no eixo dianteiro
```

```

%Somatorio de forças no eixo das abscissas
%sentido para a esquerda positivo

cr=2*pr*g*seno+2*pr*g*seno; %contribuição das rodas
cp1=p1*g*seno; %contribuição do peso 1
cp2=p2*g*seno; %contribuição do peso 2
cp3=p3*g*seno; %contribuição do peso 3
cp4=p4*g*seno; %contribuição do peso 4
F=cr+cp1+cp2+cp3+cp4; %Força necessária para manter o carrinho estático

%Relação de torque entre a força aplicada na roda e no disco

rd=0.055; %raio do disco em metros
Fd=(F*hrt)/rd; %Fd força aplicada no disco

%Força de atrito entre a pastilha e o disco

mi=0.45; %Coeficiente de atrito
Fp=Fd/mi; %Força a ser aplicada nas pastilhas

%Relação de transferencia de força no braço de alavanca da pinça

apastilha=0.002; %2 mm de avanço da pastilha
apinca=80/360*2*pi*0.038; %avanço da alavanca da pinça
G=apinca/apastilha; % ganho mecânico entre na alavanca da pinça

Ff=Fd/G; %Força a ser exercida na alavanca da pinça

%Força elástica F=k*x

x=0.005; %o quanto a alavanca vai ser deslocada em metros
k=Ff/x; %Constante elástica necessária para que a mola atenda os requisitos

fprintf('A mola deve ter um k de %.2f N/m para frear o carrinho numa
inclinação de %.2f graus\n', k, o)

```

Como resultado do código acima temos:

A mola deve ter um k de 3363.57 N/m para frear o carrinho numa inclinação de 8.33 graus

Para a segunda análise tentamos descobrir qual o ângulo máximo pode ser atingido se considerarmos como limitação a constante da mola utilizada de 34021 n/m. Assim temos o seguinte código em Matlab que leva em consideração alguns parâmetros utilizados na primeira análise:

```

%Temos que a mola utilizada na pratica tem um k estimado de 34021 n/m
%Encontrando o valor máximo de inclinação para que a mola utilizada consiga
%manter o carrinho estático

o=5; %ângulo de inclinação inicial de análise em graus;
while k<34021

```

```

o=o+1; %atualização do angulo ou seja a analise será feita a cada grau

seno=sind(o); %seno do angulo
coso=cosd(o); %cosseno do angulo

parou=0; %variavel de condição para analise se o angulo não for o limitador
if seno>0.999 %limitando a angulação levando em consideração que o máximo que
seno máximo de qualquer ângulo é 1
    fprintf('A inclinação máxima atingida foi de %.2f graus e o k necessário
para a mola neste caso é %.2f n/m\n', o, k)
    parou=1; %variavel de condição para analise se o angulo não for o
limitador
    break
end

%Somatorio de forças no eixo das abscissas
%sentido para a esquerda positivo

cr=2*pr*g*seno+2*pr*g*seno; %contribuição das rodas
cp1=p1*g*seno; %contribuição do peso 1
cp2=p2*g*seno; %contribuição do peso 2
cp3=p3*g*seno; %contribuição do peso 3
cp4=p4*g*seno; %contribuição do peso 4
F=cr+cp1+cp2+cp3+cp4; %Força necessária para manter o carrinho estático

%Relação de torque entre a força aplicada na roda e no disco

rd=0.055; %raio do disco em metros
Fd=(F*hrt)/rd; %Fd força aplicada no disco

%Força de atrito entre a pastilha e o disco

mi=0.45; %Coeficiente de atrito
Fp=Fd/mi; %Força a ser aplicada nas pastilhas

%Relação de transferencia de força no braço de alavanca da pinça

apastilha=0.002; %2 mm de avanço da pastilha
apinca=80/360*2*pi*0.038; %avanço da alavanca da pinça
G=apinca/apastilha; % ganho mecânico entre na alavanca da pinça

Ff=Fd/G; %Força a ser exercida na alavanca da pinça

%Força elástica F=k*x

x=0.005; %o quanto a alavanca vai ser deslocada em metros
k=Ff/x; %Constante elástica necessária para que a mola atenda os requisitos

end

if parou==0
fprintf('Para uma mola de 34021 N/m a inclinação máxima que o carrinho pode
ser submetido é de %.2f graus\n', o)
end

```

Como resultado do código acima temos:

A inclinação máxima atingida foi de 88.00 graus e o k necessário para a mola neste caso é 23185.37 n/m

Por fim na terceira e última análise em busca de limitar a inclinação através a interação pneu-solo consideramos como coeficiente da força de atrito entre o pneu e o solo como sendo 0.5, um coeficiente bem conservador considerando que o veículo é off road, ou seja, este valor de coeficiente é para terrenos em estradas de terra. Neste caso temos o seguinte código em Matlab que leva em consideração alguns parâmetros de análises anteriores:

```
%Analisando a limitação de inclinação pelo atrito do pneu

o=0; %angulo de inclinação inicial em graus
Fmax=(4*pr+p1+p2+p3+p4)*g; %chute inicial considerando todo o peso no eixo
traseiro
while F<=Fmax

o=o+1; %atualização do angulo ou seja a analise será feita a cada grau
seno=sind(o); %seno do angulo
coso=cosd(o); %cosseno do angulo

%Somatorio de momento em relação a roda dianteira
%sentido horario positivo

cr=-2*pr*g*seno*hrd-2*pr*g*seno*hrt+2*pr*g*coso*l; %contribuição das rodas
cp1=-p1*g*seno*hg+p1*g*coso*lg; %contribuição do peso 1
cp2=-p2*g*seno*hc+p2*g*coso*lc; %contribuição do peso 2
cp3=-p3*g*seno*he+p3*g*coso*l; %contribuição do peso 3
cp4=-p4*g*seno*has+p4*g*coso*la; %contribuição do peso 4
nt=(cr+cp1+cp2+cp3+cp4)/l; %reação no eixo traseiro

%Somatorio de forças no eixo das abscissas
%sentido para a esquerda positivo

cr=2*pr*g*seno+2*pr*g*seno; %contribuição das rodas
cp1=p1*g*seno; %contribuição do peso 1
cp2=p2*g*seno; %contribuição do peso 2
cp3=p3*g*seno; %contribuição do peso 3
cp4=p4*g*seno; %contribuição do peso 4
F=cr+cp1+cp2+cp3+cp4; %Força necessária para manter o carrinho estático

%Relação de torque entre a força aplicada na roda e no disco

rd=0.055; %raio do disco em metros
Fd=(F*hrt)/rd; %Fd força aplicada no disco

%Força de atrito entre a pastilha e o disco

mi=0.45; %Coeficiente de atrito
Fp=Fd/mi; %Força a ser aplicada nas pastilhas

%Relação de transferencia de força no braço de alavanca da pinça
```

```

apastilha=0.002; %avanço da pastilha
apinca=80/360*2*pi*0.038; %avanço da alavanca da pinça
G=apinca/apastilha; % ganho mecânico entre na alavanca da pinça

Ff=Fd/G; %Força a ser exercida na alavanca da pinça

%Força elástica F=k*x

x=0.005; %o quanto a alavanca vai ser deslocada em metros
k=Ff/x; %Constante elástica necessária para que a mola atenda os requisitos

Mi=0.5; %Coeficiente de atrito entre o pneu e o solo
Fmax=Mi*nt; %Força máxima a ser atingida

end

fprintf('A inclinação máxima atingida até que o pneu perca aderência com o
solo foi de %.2f graus\n considerando um coeficiente de atrito igual a %.2f e
o k necessário para a mola neste caso é %.2f n/m\n', o, Mi, k)

```

Como resultado do código acima temos:

A inclinação máxima atingida até que o pneu perca aderência com o solo foi de 14.00 graus considerando um coeficiente de atrito igual a 0.50 e o k necessário para a mola neste caso é 5616.75 n/m

Por fim concluímos que o fator limitante é o atrito pneu solo e não a constante elástica da mola, a mola utilizada será efetiva independente da inclinação na qual o carrinho for submetido e analisando a limitação de inclinação pela relação pneu solo temos um resultado de 14 graus o que pode ser considerado ótimo levando em consideração que é está inclinação só estará presente em estradas muito íngremes e o carrinho raramente será submetido a estas situações.